ー次制御シネパルス装置

X-ray Apparatus for Cineangiocardiography Using Thyristor Parallel Inverter

加	藤	和	昭*	高	橋	秋	穂*
	Kazuaki	Kat3			Akiho Ta	akahashi	
矢	仲	重	信*	小	池	功	*
	Shigenobu	Yanaka	1	K ichi Koike			

旨

要

全波整流形X線装置の一次側に,直流平滑回路とインバータ回路とを付加し,シネカメラの接点に同期してパルス幅2msまでの短時間X線パルスを発生させる制御装置について述べる。本方式のパルス制御を一次側(低 圧側)で行なうため,従来の高圧コンデンサ,三極X線管などが不要となり,小形,軽量化の点ではるかにす ぐれ,イメージインテンシファイアおよびシネカメラと組み合わせて,100 コマ/秒の高速度X線シネ撮影を行 なうことができる。

1. 緒 言

近年医学の進歩に伴い,多くの病気が予防,治療しうるようにな ったが依然として,がん,脳卒中,心筋硬塞などの循環器疾患によ る死亡数は減少せず,高血圧,動脈硬化症,狭心症などに悩む人々 が多い現況である。したがって心臓,大動脈,脳などにおける循環 動態,病変を適確に診断し,治療に役だてることはきわめて重要で あり,これらの領域における基礎的研究の進歩ならびに適確な診断 方法の確立が強く望まれている。



毎分 60 回から 100 回におよぶ早い速度で, 収縮, 拡張運動を休み なく反復する心臓や, 毎秒 100 cm にもおよぶ早い血の流れる血管 系を適確に診断するには, その機能, 形態を動態的には握すること が必要である。これら心臓, 血管系の機能, 形態を動態的には握す るのに心臓血管 X線映画撮影法 (Cineangiocardiography) が診断, 研究の一つの有力な手段として登場してきた。しかし従来行なわれ てきた通常の X線映画法は, 二極 X線管を使用して全波整流形 X線 装置で連続して X線を曝(ばく)射し, イメージインテンシファイア の出力像をシネカメラで撮影する方法であるが, これはシネカメラ のシャッタ閉期間中にも連続して X線がばく射されるので, 患者の 被ばく線量が多くなると同時に, 心臓血管系の運動のボケが多く, 診断上不都合を生じていた。

これらの欠点をなくすため,三極X線管を使用すると同時にX線 管電圧を平滑化し,シネカメラのシャッタに同期してms級のパル スX線をばく射する装置も開発されている⁽¹⁾⁽²⁾が,これは二極X線 管を使用する方式に比較して高圧平滑回路,三極X線管制御器,三 極X線管などを必要とするので相当に高価な装置となる。

本装置は従来の全波整流形X線装置の一次側(低圧側)に,直流平 滑回路とシネカメラ接点に同期して交互に正負方形波パルスを発生 するインバータ回路を設け,比較的簡単に上記の目的を達成するこ とができた。

本装置のパルス発生部分は,従来の二極X線管を用いた全波整流 形X線装置の一次側にアダプタとして付加することができ,しかも ms級のパルスを電源位相に関係なく100 コマ/秒まで発生させる 図1 装 置 の 構 成



(a) シネパルスコントローラ



ことができるので,性能的には上記三極X線管方式に匹敵し得る機能を有し,かつまた前述の医学的目的を果たしうるものである。 ここにその概要ならびに結果について報告する。

2. 装置の概要 装置の構成を図1に示す。図1の1.シネパルスコントローラが * 日立製作所亀戸工場

一次制御シネパルス装







置

図6 ゲート回路の各部の波形

本装置であり、2は制御装置、3は高電圧発生装置、4はX線管装 置である。

図2はシネパルスコントローラの外観図である。 本装置の定格は表1に示すとおりである。

3. 改良形並列インバータ回路

本装置では Mc. Murray 氏ら⁽³⁾が開発し,かなりの使用実績⁽⁴⁾⁽⁵⁾ もある改良形並列インバータ回路を使用した。この回路の動作に関 する詳細な検討はほかにある⁽³⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾のでここでは省略するが,本装 置に用いた場合の回路(図3)について,その動作を簡単に説明する。

まずシネカメラシャッタに同期した信号によりサイリスタ(SCR₁ と SCR₄)が同時に点弧し,高圧変圧器の一次側には T₂から T₁の方 向へ電流が流れX線がばく射される。 ある時間経過後サイリスタ (SCR₂ あるいは SCR₃)のいずれか一方を点弧すれば転流コンデンサ と転流リアクトルの過渡現象のためサイリスタ(SCR₁ またはSCR₄) 量および転流リアクトルのインダクタンスは(2)(3)式で与えられる⁽³⁾。



ここに、 E: 電源電圧

_____ 31 _____

- I₀: ターンオフ直前にサイリスタに流れる電流
- to: サイリスタのターンオフ時間
- C: 転流コンデンサ容量
- L: 転流リアクトルのインダクタンス

したがってこの回路で得られる正負パルスは,平滑回路のコンデ ンサ容量を大きく選べば方形波に近くなり,さらに正負のパルス幅

が逆バイアスされるため消弧し, X線ばく射が停止する。次にサイ
リスタ (SCR ₂ と SCR ₃)を同時に点弧すれば,前回と逆方向の T ₁ か
らT2へ電流が流れ,ある時間経過後前回と同様にして電流が遮断
する。 D1~D4の整流器は誘導性負荷あるいは容量性負荷にたくわ
えられたエネルギーを電源に帰還するためのものである。
この回路では転流損失を最小にするために最大負荷に対して,
(1)式を満足するように選定する。この場合の転流コンデンサの容

を同じに設定すれば高圧変圧器の偏磁化の問題は解決される。

4. ゲート回路

改良形並列インバータの駆動用として用いたゲート回路の系統図 を図4に、回路図を図5に、各部の波形を図6に示す。 シネカメラに内蔵されたパルシング接点はシャッタが開くと同時 に閉じる構造となっている。TR₁とTR₂はモノマルチバイブレー 立



図7 簡易等価回路

タを形成しており、シネ接点の信号の変化による誤動作を防ぐために設けた回路である。シネ接点が閉じるとモノマルチバイブレータ入力端に正のトリガーパルスを発生する。このためTR₁のコレクタ電圧は -16Vから0V 付近まで変化するので、これを微分、整流してTR₃ と TR₄ で形成されるフリップフロップ回路のトリガーとして利用する。このフリップフロップ回路によってシネ接点の2分の1周期の方形波パルスを得、TR₄のコレクタ出力を微分、整流して正パルスのみを得、次段のTR₅ と TR₆ で形成するモノマルチバイブレータのトリガー入力とする。トリガーされたモノマルチバイブレータはT=0.7 CRの時定数をもって方形波を発生するので、この回路の抵抗1Rを変えることにより動作期間、すなわちX線パルス幅を変え得るようにしてある。つぎに方形波を微分波に成形してダイオードにより正負に分離し、負パルスをTR₇で増幅し、サイリスタ(SCR₁ と SCR₄)を点弧させ、正方向の電流を流し他方正パルスを TR₈ と TR₉ で増幅し、サイリスタ(SCR₂ または SCR₃)を点弧



印加電圧はゼロ休止を有する対称方形波であるため、過渡現象を考察するには単位ステップ関数的な電圧を加えた場合で論じてよい。

させ電流を遮断する。したがってこの動作により高圧変圧器の入力 端には正のパルスが印加される。

一方シネ接点が再び閉じると、フリップフロップの他方の出力端 (TR₃のコレクタ)には前回と位相の反転した出力方形波を生じ上述 と同様な動作でTR₁₀~TR₁₄により高圧変圧器の入力端には負のパ ルスが印加される。

シネ接点が順次閉じるたびにこの動作を交互に繰り返し,高圧変 圧器の入力端には正負パルスが交互に印加されることになる。

5. 平滑コンデンサ容量の検討

図3より明らかなように、本方式ではインバータ用の直流電源と して、交流をいったん全波整流して平滑化し、電源位相に関係なく シネカメラシャッタに同期してX線をばく射しているが、それぞれ の1コマ1コマのパルス波形が方形波に近づくと同時に映写時のチ ラツキをなくするためには、連続した数十コマに対しても濃度変動 の生じないよう留意する必要がある。

そこでいまチラッキの生じないフィルム黒化度の変動の範囲を 0.1以内と仮定して、これに必要な平滑容量を求める。イメージイン テンシファイアならびにフィルムの γ を1とし、被写体の透過線量 が管電圧の3乗に比例するものと考えれば、管電圧の変動は約8% 以内である必要がある。したがって全波整流回路の定常状態の脈動 率の計算式を利用して平滑容量 C_0 は近似的に(4)式で計算される。

C	$_{0} = -V$	$\frac{\mathbf{i}_{p} \cdot \tau}{4 f}$	$ \bullet F \times 10^3 \\ \bullet \delta \bullet v^2 $	(μF)	(4)
ここに,	V :	管	電	圧	(kVp)
	i_P :	パルス電流波高値			(mAp)
	τ :	パ	ルス	幅	(ms)

したがってこの回路では、回路条件により電圧印加時に過渡振動を 生ずる場合があり、振動の周波数がパルス幅に比較して早く、振幅 が大きい場合には異常電圧を生じ、方形波波形に比較して発生線量 の低下を招くことになるので、振動を防止するためには図7の回路 で振動の生ずる条件式、(5)式のrを増大させればよく、本装置で は制動抵抗(図3 R,)を一次側に付加し、振動を防止した。

振動の条件

$$K = \frac{LC}{4} \left(\frac{r}{L} - \frac{1}{CR} \right)^2 < 1 \dots (5)$$

ここに、 L: 二次換算インダクタンス

- r: 二次換算抵抗
- C: 高圧ケーブル容量
- R: X線管等価負荷抵抗

図3の回路にて管電圧,管電流を,さらに増感紙と光電子増倍管を使用してX線出力波形を測定した結果を示したのが図8である。 高圧ケーブルの長さにより管電圧,管電流に波尾が生じてくるのは 高圧ケーブルの蓄積電荷がX線管を通して放電するためであり,こ の波尾があまり長いと撮影コマ数が制限されるので,この点については次項で検討する。

7. 撮影条件と撮影可能なコマ数の関係

前述のようにケーブル容量による管電圧波尾のため,あまり撮影 コマ数をあげるとX線出力はパルス波形でなく脈流となり,被ばく 線量,写真解像力の点から好ましくない。

そこで各パルスの分解能として、パルスの波尾が少なくとも90% 低下してから次のパルスを発生させるものとすれば、一次側で電圧 を遮断してからパルス波尾が90%低下するに要する時間 t は(6)





16





図13 Cu の半価層

P G X : X 線管





図14 シネ撮影の幾何学的条件

(8)式により計算した撮影可能コマ数対高圧ケーブル長の関係を 図9に示す。この図の平坦(へいたん)部はシネカメラシャッタ開角 180 度とした場合に制限される部分を示し、曲線部は管電圧波尾に より制限されることを示している。

8. 線量,線質特性

パルス幅3ms,高圧ケーブル長5m,管電流40mAにおいて測 定したAlおよびCuに対する1パルス当たりの減弱特性を図10, 図11に示す。またこれに対する線質特性(半価層)を図12,図13に 示す。

図12,13は全波整流方式の半価層を示したものであるが、本装置 の線質特性はパルス効果により全波整流方式の場合よりかたい。

9. 管電圧脈動ならびに発生線量

前述のように本装置では撮影コマ数は電源周波数に関係なく図9 の範囲で選定できるが、電源周波数、あるいはその2倍周期に同期 したコマ数で使用する以外は平滑回路の電圧脈動との関係で、連続 した管電圧波形には若干のうなり現象が現われる。これはX線量, つまり1コマごとのフィルム濃度バラッキの原因になるので極力押 える必要があり、 平滑コンデンサの容量については 5. で検討した ので,図14の幾何学的条件にて80kVp,40mAの条件においてフ ァントーム撮影を行ないフィルムの黒化度の変動を測定した。その 結果,黒化度の変動量は0.08 であり上映の結果画像のチラツキは全 く感じられなかった。 なお測定結果を図15に示す。

図11 Cuの減弱特性

ここに, t: パルス波尾が90%低下するに要する時間 (s) F: 撮影可能なコマ数 (FPS)

T: パ ル ス 幅 (s) I_p : 管 電 流 (I_p)

C: ケーブル容量 (F) V:管 電 圧 (V)

10. シネパルスによる写真撮影結果 図3の回路,図14の幾何学的条件で、シネパルス接点付シネカメ

論

日







(a) 流し撮り 90 kVp, 4 mA, 50 fps, Fuji.SSS



(b) ジネパルス 80 kVp, 40 mA, 3 ms, 50 fps, Fuji.SSS 図16 流し撮りとシネパルス撮影による写真比較

ラ (Eclair GV-16 ならびに Arriflex 35) と組み合わせてX線映画 の撮影を行なった。

循環器系診断時の模擬状態として、毎秒100cmの速度をもつ動 体(棒状回転体)を対象に各コマごとにパルス状X線をばく射した 場合と、X線を連続してばく射した場合の両者について撮影を行な ったのでその一例として Arriflex 35 を用いた撮影結果を図 16 に示 す。図16の結果から、パルス撮影の場合、動体は運動のボケが少 なく停止像に近い形で撮影されており, 識別能の良い写真となって いる。 なおこの場合連続した 40 コマについて黒化度の変動を測定 した結果は前述の図15のとおりである。 さらに被写体として,水 20 cm を選び, 100 kVp, 40 mA, 100 コマの撮影条件についても撮 影し性能の確認を行なった。

11. 結 言

全波整流形X線装置の一次側に, 直流平滑回路とインバータ回路 とをアダプタとして付加し、シネカメラの接点に同期してパルス状 X線を発生する一次制御形シネパルス式X線装置の開発結果につい

(2) パルス幅としては、最短2msまで制御が可能である。

(3) 最大コマ数としては、X線撮影条件、高圧ケーブル容量に よって異なるが、高圧ケーブル片道12m、100kVp、40mA、パ ルス幅2msの条件において100 FPSは可能である。

なお、この装置は長崎大学放射線科にて毎秒200 コマで実用試 験を実施中であり良好な成績をおさめている。

(4) Eclair GV-16ならびに Arriflex 35 mm カメラと結合し て80~100 FPS までの実働試験を行なうとともに,通常最も多く 使用されると考えられる 50 FPS において撮影を行なった結果, 被写体識別能に対して十分パルス効果を認めることができた。 本報告を終了するに際し, 種々ご指導を賜わった長崎大学医学部 本保教授, 高尾X線技師長に対し深く感謝の意を表する。

献 考 文 参

- (1) 鳥山ほか5名: パルスX線同期制御装置「シマパルス」, 島 津評論, 24-No.3, p. 33~38
- (2) 上田ほか4名: 日立評論 48, 383 (昭 41-3)
- Mc. Murray, D. P. Shattuck: Silicon-Controlled Recti-(3)

て報告した。

本装置の性能,ならびに実験結果を要約すれば次のとおりである。 (1) パルス制御を一次側(低圧側)で行なうため、従来行なわれ ている三極線管方式に比較して高圧コンデンサ,三極X線管制御 器,三極X線管などが不要となり、小形,軽量化の点でははるか にすぐれており原価も安くなった。

- fier Inverter with Improved Commutation, p. 531~542 (1961 AIEE.)
- 前島: 日立評論 47, 1896 (昭 40-12) (4)前島ほか2名: 日立評論 48, 1226 (昭 41-10) (5)
- 築地,相川: SCR とその応用 p. 188~196 (昭 40-5) 日刊工 (6)業新聞社
- (7) 大野: SCR インバータとその応用 その2, 三菱電機技報 39-No. 6 p. 76~82 (1965)